

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-134628

(43)Date of publication of application : 18.05.2001

(51)Int.Cl.

G06F 17/50  
E04B 1/00

(21)Application number : 11-314631

(71)Applicant : BABCOCK HITACHI KK

(22)Date of filing : 05.11.1999

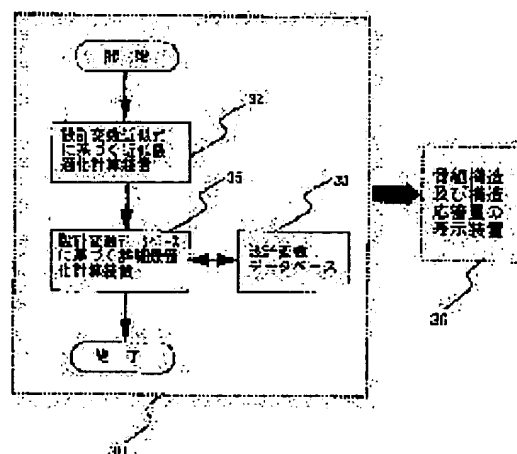
(72)Inventor : AIDA KIYOSHI  
KAWAMURA KOTARO

## (54) DEVICE FOR OPTIMALLY DESIGNING FRAMED STRUCTURE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the safety and reliability of a framed structure by using a device that executes an automatic calculation and can obtain an optimum solution thereby executing a highly precise optimal framed structure design in a real design problem that the number of pieces of design variable data is very large in an optimal designing device using a genetic search method.

**SOLUTION:** This device for optimally designing the framed structure by using the genetic search method is provided with an approximate optimization calculating device using an approximate expression of discrete design variable data such as a framed member cross section size and a detailed optimization calculating device using the design variable data and constructs an optimization designing device for a framed structure by combining these two calculating devices. The approximate optimization calculating device using the approximate expression of the design variable data and the detailed optimization calculating device obtain the optimal solution of an excellent framed structure by continuously and automatically executing a two-stage optimization calculation no matter how many pieces the number of pieces of design variable data is.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

BEST AVAILABLE COPY

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-134628  
(P2001-134628A)

(43)公開日 平成13年5月18日(2001.5.18)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 0 6 F 17/50

E 0 4 B 1/00

5 B 0 4 6

E 0 4 B 1/00

G 0 6 F 15/60

6 0 4 D

6 1 2 H

6 8 0 B

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平11-314631

(22)出願日 平成11年11月5日(1999.11.5)

(71)出願人 000005441

バブコック日立株式会社

東京都港区浜松町二丁目4番1号

(72)発明者 相田 清

広島県呉市宝町3番36号 バブコック日立  
株式会社呉研究所内

(72)発明者 河村 幸太郎

広島県呉市宝町6番9号 バブコック日立  
株式会社呉事業所内

(74)代理人 100096541

弁理士 松永 孝義

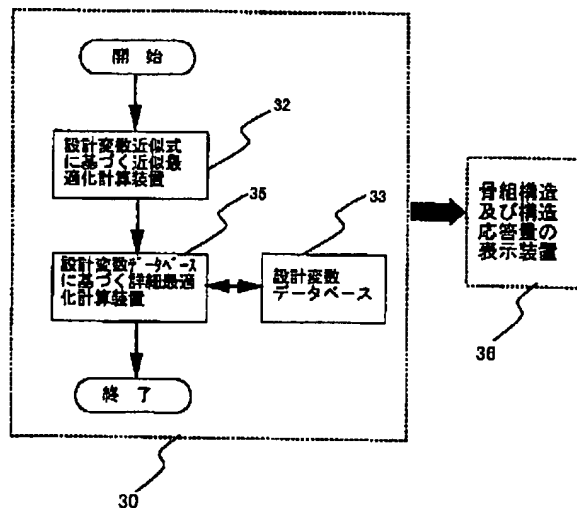
Fターム(参考) 5B046 AA03 BA04 DA02 FA06 JA08

(54)【発明の名称】 骨組構造の最適化設計装置

(57)【要約】

【課題】 遺伝的探索法を用いた最適化設計装置において、設計変数データの数が増大となる実設計問題において、自動計算を実施し、最適解を得ることを可能にする装置により、高精度な最適骨組構造設計を実施可能にし、骨組構造の安全性及び信頼性を向上すること。

【解決手段】 遺伝的探索法を用いた骨組構造最適化設計装置において、骨組部材断面寸法などの離散設計変数データの近似式を使用する近似最適化計算装置と該設計変数データを使用する詳細最適化計算装置を設け、これら二つの計算装置を結合して骨組構造の最適化設計装置を構成する。上記設計変数データの近似式を用いた近似最適化計算装置及び詳細最適化計算装置により、2段階の最適化計算を連続して自動的に実施することにより、設計変数データの数がいくら多くなっても、良好な骨組構造の最適解が得られる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 有限要素法あるいは梁の理論解析式等を用いた構造応答量計算部と最適化計算手法を結合して構成された骨組構造の最適化設計装置において、骨組部材断面寸法等の離散設計変数データの近似式を使用する近似最適化計算装置と該設計変数データを使用して、該近似最適化計算装置により得られた近似解まわりに詳細な解を探索するという手順で行う詳細最適化計算装置を遺伝的探索法に基づいて構成し、これら二つの計算装置を結合して構成したことを特徴とする骨組構造最適化設計装置。

【請求項2】 骨組の3次元の配置状態及び部材太さなどの骨組構造に関する情報、及び構造に生じる応力などの応答量の情報を表示する装置を有することを特徴とする請求項1に記載の骨組構造最適化設計装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、骨組構造の最適化設計を目的として有限要素法あるいは梁の理論解析式等の骨組構造応答量計算と、最適化計算手法の組合わせで構成される骨組構造設計装置に係わり、特に最適化計算手法として遺伝的探索法を応用した設計装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】骨組構造は、比較的小さい機器や装置のサポートとして利用されている他、建築物あるいは火力発電用ボイラ等の高層あるいは大型の構造物の自重支持

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_M\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、Mは設計変数の数である。

【0007】「制約条件」とは応力や変形量等の構造応答量のうち、設計上で規定される必要のある応答量に関

$$g_i(X) \leq 0 \quad (i = 1 \sim k) \dots\dots\dots (2)$$

$$h_j(X) = 0 \quad (j = 1 \sim m) \dots\dots\dots (3)$$

ここに、kは不等式制約条件の数で、mは等式制約条件の数である。

【0008】「目的関数」は、設計者が構造物に関して最小化あるいは最大化したい量であり、例えば構造物の重量などが選択される。以下、目的関数を  $f(X)$  で表す。

【0009】次に、図19～図24を用いて代表的な二つの最適化計算手法について述べる。なお、図19～図24では、二つの最適化計算手法を登山問題に例えて説明する。

【0010】図19は「感度4に基づく最適化手法」を説明したものであり、2次元の変数空間座標5中に、目的関数値6の等高線4aを描き、最適化問題が一つの山、すなわち単峰性問題で表される例を示した平面図である。図20は図19の側面図である。

【0011】「感度4に基づく最適化手法」は設計変数の初期値9bから計算を開始して、最適化繰返し計算をする過程で、等高線4aの勾配である感度4を計算しな

用及び耐震用に使用されており、その用途は広い。

【0003】このような骨組構造を適正化するための一般的な課題として、骨組構造を自動で最適化設計する装置が望まれており、これに対して各種装置が開発されている。

【0004】骨組構造の一例を示すため、図18に一般的な火力発電用ボイラプラントの骨組構造13の鳥瞰図を示す。本プラントは、大重量であるボイラ12を約3000本もの鉄骨部材11で支持する骨組構造13である。従来から、特にこのような大規模な骨組構造13における鉄骨部材11の一本一本の配置と断面寸法の最適な組合わせを計算できる最適化設計装置が望まれていたが、これまでに、この要望に応える最適化設計装置は存在しなかった。

【0005】上記骨組構造の最適化設計に関連する従来技術について述べる前に、まず最初に、最適化設計法での基本用語を説明する。その後、代表的な二つの最適化手法として、従来法である「感度に基づく最適化手法」と新手法である「遺伝的探索法」について、その特徴と従来技術への応用例を説明する。最適化設計とは「制約条件」を満足し、かつ「目的関数」を最小化する「設計変数」の「最適解」を求める設計のことである。

【0006】「設計変数  $X_i$ 」は実設計で使用されている構造パラメータの中から設計者が選択するもので、通常、式(1)に示すように複数使用される。例として図18中の鉄骨部材11の断面積等が挙げられる。

する制約を記述した式である。制約条件の種類としては、式(2)及び式(3)に示す等式及び不等式のものが存在し、各々、複数となる場合が多い。

がら、最も感度4が大きくなるルートをたどって、最短距離で山頂即ち最適解9aを探索する方法である。

【0012】本最適化手法は、図19及び図20に示す単峰性問題でかつ連続的な設計変数を対象とする問題には有効であるが、図21、図22のような、複数の山から成るいわゆる多峰性問題に対しては有効でない。その理由は、初期値9bの与えた場所に解が依存し、初期値の与え方によっては、最も高い山頂である最適解9aが得られず、あまり高くない山頂である局所解9に陥りやすい。

【0013】上記の問題を解決するための代表的な従来技術として、特開昭59-83207号公報記載の発明がある。この技術は最適制御法に関するものであり、

「感度に基づく最適化手法において、探索出発点を最適解が存在すると予測される領域内に定めることにより、制御対象に与える変動を小さく抑えるとともに、最適解を求める時間を大幅に短縮する」ことを目的とするものである。この技術の実施例として蒸気タービン発電設備

の最適運用を行うための、数個の加圧弁の開度の最適化が行われている。

【0014】ところが前記従来技術において探索出発点を最適解が存在すると予測される領域内に定めるためには、制御問題に関するノウハウを蓄積する必要があり、制御の自動化は不可能である。ましてや、本発明の対象である約3000個の骨組部材を設計変数とする最適化問題に前記従来技術を適用した場合、ノウハウの蓄積に膨大な時間がかかるだけでなく、自動設計により最適解を得ることはできない。

【0015】次に、「感度4に基づく最適化手法」を改善するために開発された新手法「遺伝的探索法」を、図23及び図24を用いて説明する。なお図23は多峰問題の平面図を示し、図24は側面図を示している。

【0016】遺伝的探索法は、遺伝子情報に基づいた生物の進化過程を模擬した最適化手法である。本手法では、後述する「交差及び突然変異」というランダム探索4bにより、図23及び図24に示す多峰性問題において、それまで登った山の経験を生かしつつ、広い視野での探索が可能となり、感度に基づく最適化手法に比べて、最も高い山の頂上つまり最適解9aに辿り着く可能性が高くなっている。

【0017】遺伝的探索法による計算の流れを図25に示す。この中で重要な五つの過程である「染色体の作成21」、「構造応答量の計算21a」、「淘汰22」、「交差23」及び「突然変異24」について簡単に説明する。

【0018】遺伝的探索法では、まず最初に染色体の作成過程21で設計変数 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ の実数値を2進数で表した染色体26に変換する。次に、この染色体26を用い、構造応答量の計算過程21aで、有限要素法解析等による応答計算を実施して染色体26の目的関数値（適合度27と呼ぶ）を計算する。

【0019】淘汰過程22では、適合度27の大きさに応じて染色体26に重みを付けて適合度27の大きい染色体26のみを生存させる。図25に「染色体26」の例として $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ の三つを示す。この三つの染色体26のうち、 $X_1$ の適合度58が最も大きく、次に $X_2$ 、 $X_3$ の順になっていることが分かる。染色体26の適合度27の大きさに応じて、スロットの面積に重み付けをした回転ルーレット28を図25中に示す。適合度27が大きい順に、各染色体26が選ばれる確率を、面積の比率で表していることが分かる。

【0020】宝くじの抽選会などでは、ルーレットを回して矢を射ることにより当選番号が選出される。これと同様に淘汰22では図25に示すルーレット28を乱数を使ってコンピュータ中で模擬し、適合度27が大きい染色体26をできるだけ生き残らせるような操作を行う。

【0021】淘汰22によって生存した染色体の中から

複数個のペアを選び、これらのペアの数値列を部分的に交換し、新たな染色体を生成する過程が交差23である。例として、淘汰によって図25の $X_1$ 及び $X_2$ が生存した場合を考える。交差23では、生き残った染色体の中から、染色体のペア29a、29bを複数個選び（このようにして選ばれた染色体を「親29a、29b」と呼ぶ）、この親29a、29bを選択した後は図25の\*部で示すように、数値列を部分的に交換し、新たに二つの「子29c、29d」を生成する。

10 【0022】この操作により優れた親29a、29bの数値列パターンを受け継ぐ子29c、29dを作る。交差23を行う回数は確率で与える。例えば100個の染色体26の中で3回の交差を行う場合、交差を行う確率は0.03となる。交差を1回行う度に、染色体26のペアを一つ選ぶが、どのペアを選ぶかは乱数によって決める。また、親29a、29bの数値列中のどの場所で交差を行うかも、乱数によって決定する。

【0023】交差を行った場合、染色体の数値列パターンが限定されやすく、探索の空間が狭まる可能性がある。これを避ける過程が「突然変異24」である。この過程を例で説明すると、図25の\*\*部に示すように「子29c」の数値列の一部分の「1」と「0」の値を変えて新たな「子29e」を作ることであり、この操作の繰り返しにより探索のランダム性を保持する。突然変異24を行う回数も、交差23と同様に確率で与える。例えば、100個の染色体26の中で2回の突然変異を行う場合、その確率は0.02となる。どの染色体26を対象として、数値列のどの場所で突然変異24を実施するかは、乱数によって決める。

30 【0024】ところが、遺伝的探索法は離散設計変数の最適化に適しているといえるが、取り扱える設計変数の数には限界がある。実際の大規模な設計問題に、ただ単純に遺伝的探索法を適用したところで、簡単に最適解が得られるわけでない。

【0025】このような問題点を解決する従来技術として特開平7-134700号公報記載の発明がある。この技術はプラント最適化設計装置に関するものであり、図26にその設計装置1102の構成を示す。この設計装置装置1102は入出力インターフェイス部1106と遺伝的探索法による最適化計算部1105及びデータファイル1103、1104を介するシミュレータ1101を備えた装置である。

【0026】この技術では、遺伝的探索法を実際の問題に適用する場合に、その問題にあった操作が必要であるとしている。具体的には設計者による解釈（ヒューリスティックス）を導入し、シミュレータ1101を使って設計問題における評価基準や設計変数の範囲等を与えて、試行錯誤により最適解を求めている。

【0027】この技術は熱交換器網の設計に適用されており、運転パターンに対して取り扱う設計変数（例え

ば、伝熱面積や分流量など)の種類や範囲を替えて、最適化計算が行われている。

【0028】ところが上記従来技術では、対象とする設計問題に関するノウハウを有している設計者が試行計算をしなければ解が得られない。ましてや、本発明の対象である約3000個の骨組部材を設計変数とする最適化問題に上記従来技術を適用した場合、ノウハウの蓄積に膨大な時間がかかることは勿論、自動設計により最適解を得ることはできない。

【0029】

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は上記従来技術における欠点を解消し、下記の課題を解決することにある。

(1) 遺伝的探索法を用いた最適化設計装置において、設計変数データの数が膨大となる実設計問題において、これまで不可能であった自動計算を実施し、最適解を得ることを可能にする装置を提供する。

(2) 上記(1)に記載の装置により、高精度な最適骨組構造設計を実施可能にし、骨組構造の安全性、及び信頼性を向上することを可能にする。

【0030】

【課題を解決するための手段】上記課題は、次の解決手段によって達成される。すなわち、遺伝的探索法を用いた骨組構造最適化設計装置において、骨組部材断面寸法などの離散設計変数データの近似式を使用する近似最適化計算装置と該設計変数データを使用する詳細最適化計算装置を設け、これら二つの計算装置を結合して骨組構造の最適化設計装置を構成する。

【0031】

【作用】上記のように、設計変数データ近似式を用いた近似最適化計算装置及び詳細最適化計算装置により、2段階の最適化計算を連続して自動的に実施することにより、設計変数データの数がいくら多くなっても、良好な骨組構造の最適解が得られる。

【0032】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について、以下図面と共に説明する。図1に本発明による実施の形態として、最適骨組構造設計装置30と骨組構造及び構造応答量の表示装置36を示す。最適骨組構造設計装置30は設計変数近似式に基づく近似最適化計算装置32、設計変数データベース33に基づく詳細最適化計算装置35及び設計変数データベース33で構成される。以下、近似最適化計算装置32と詳細最適化計算装置35の構成を順に説明する。

【0033】近似最適化計算装置32の構成を図2に示す。図2は基本的に遺伝的探索法の概要説明で用いた図25と同じであるが、設計変数近似式による変数変換サブルーチン128を設けたところが違う点である。本装置32では設計変数として骨組部材の断面積1126のみを対象とした近似最適化計算を実施する。

【0034】詳細最適化計算装置35の構成を図3に示す。図3は基本的に遺伝的探索法の概要説明で用いた図25と同じである。本装置では設計変数226として、骨組部材の断面積、断面2次モーメント、断面係数、高さ、幅、板厚などの部材断面特性データを対象とした詳細最適化計算を実施する。

【0035】図1に示す設計装置30によって、骨組構造の最適化設計を行う方法を設計装置30の構成要素、つまり各装置32、35及び設計変数データベース33の個々に説明する。

【0036】まず最初に設計変数データベース33について説明する。本データベース33は図4に示す骨組断面部材41に関するものである。骨組断面部材41の断面特性として、断面積A、幅B、高さH、板厚 $t_1$ 、 $t_2$ の他、2軸2及び3軸3まわりの断面2次モーメント $I_2$ 及び $I_3$ 、2軸2及び3軸3まわりの断面係数 $Z_2$ 及び $Z_3$ などがあるが、これらの全ての断面特性をまとめたデータベース33の一部分を図5に示す。

【0037】ここで、H型断面部材41の2軸2とは、図4中のH型断面を縦方向に2分割する軸である。また、H型断面部材の3軸3とは、H型断面を横方向に2分割する軸である。

【0038】図5は部材番号iに対応するi番目の部材の断面積 $A_i$ や3軸3まわりの断面2次モーメント $I_{3i}$ などの断面特性を全部材数N個分収納したものである(通常、 $N=1000$ 程度)。断面特性データである断面積A、幅B、高さH、板厚 $t_1$ 、 $t_2$ の他、断面2次モーメント $I_2$ 及び $I_3$ 、断面係数 $Z_2$ 及び $Z_3$ の全てを対象とした最適化計算を実施することは、天文学的な数の組み合わせの中から、解を探索することになるため、實際上このままでは最適解が得られない。そこで、最適化計算を近似最適化、詳細最適化の二つに分けた。

【0039】図2に示す近似最適化計算装置32の作用を説明する。本装置32は、設計変数近似式による変数変換サブルーチン128を設けたところが特徴である。本装置32では、図5に示すデータベース33中の部材断面積1126のみを設計変数として取り扱い、他の断面特性である断面2次モーメント $I_2$ 、 $I_3$ 、断面係数 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、部材の高さH、幅B、板厚 $t_1$ 、 $t_2$ 等を断面積Aの関数として表現することにより、効率のよい近似最適化計算を実施できる仕組みになっている。

【0040】以下、変数変換サブルーチン128中で用いる近似式を具体的に説明する。図6～図13は図5に示すデータベース33中の断面積A以外の断面特性と断面積Aの関係を整理した図であり、これらの図中における縦軸及び横軸は所定の値で基準化している。

【0041】図6は3軸3まわりの断面2次モーメント $I_3$ と断面積Aの関係を示したものであり、図7は2軸2まわりの断面2次モーメント $I_2$ と断面積A、図8は3軸3まわりの断面係数 $Z_3$ と断面積A、図9は2軸2

10

20

30

40

50

まわりの断面係数 $Z_2$ と断面積 $A$ 、図10は高さ $H$ と断面積 $A$ 、図11は幅 $B$ と断面積 $A$ 、図12は板厚 $t_1$ と断面積 $A$ 、図13は板厚 $t_2$ と断面積 $A$ の関係を示したものである。

$$I_3 = 1/\beta_{I_3} \times 3.74 \times (\beta_A \times A)^{1.8} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 $\beta_{I_3}$ は $I_3$ の基準化係数であり、 $\beta_A$ は $A$ の基準化係数である。

【0043】同様に、図7に示す断面2次モーメント $I_2$ のデータ201についても近似曲線202を描くことができ、図8に示す断面係数 $Z_3$ のデータ301についても近似曲線302を、図9に示す断面係数 $Z_2$ のデータ401についても近似曲線402を、図10に示す $H$

$$I_2 = 1/\beta_{I_2} \times 0.58 \times (\beta_A \times A)^{1.96} \dots\dots\dots (5)$$

$$Z_3 = 1/\beta_{Z_3} \times 1.75 \times (\beta_A \times A)^{1.39} \dots\dots\dots (6)$$

$$Z_2 = 1/\beta_{Z_2} \times 0.33 \times (\beta_A \times A)^{1.51} \dots\dots\dots (7)$$

$$H = 1/\beta_H \times 42.59 \times (\beta_A \times A)^{0.41} \dots\dots\dots (8)$$

$$B = 1/\beta_B \times 35.8 \times (\beta_A \times A)^{0.44} \dots\dots\dots (9)$$

$$t_1 = 1/\beta_{t_1} \times 0.76 \times (\beta_A \times A)^{0.55} \dots\dots\dots (10)$$

$$t_2 = 1/\beta_{t_2} \times 1.04 \times (\beta_A \times A)^{0.56} \dots\dots\dots (11)$$

ここに、 $\beta_{I_2}$ は $I_2$ の基準化係数であり、 $\beta_{Z_3}$ は $Z_3$ 、 $\beta_{Z_2}$ は $Z_2$ 、 $\beta_H$ は $H$ 、 $\beta_B$ は $B$ 、 $\beta_{t_1}$ は $t_1$ 、 $\beta_{t_2}$ は $t_2$ のそれぞれ基準化係数である。

【0045】上述のように、断面積 $A$ 以外の断面特性データを断面積 $A$ に関する関数として表し、断面積 $A$ のみを対象とした効率の良い近似最適化計算が実施できる仕組みになっている。図7～図13中に、近似最適化計算によって得られた最適解103の例を示す。

【0046】ここで、0.0001という値はあくまで例としての値であり、近似最適化計算の結果、例えば、この「0.0001」という所に最適解103が存在する例を示したものである。

【0047】最適解103の算出方法を簡単に説明すると、式(4)～式(11)に示すように、 $I_3$ 、 $I_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_2$ 、 $H$ 、 $B$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ 等のパラメータは断面積 $A$ の関数となっていることから、唯一 $A$ が変数となっている。

【0048】このように $A$ のみが変数として取り扱える場合において、例えば図7中のデータ201は、有限個の数(例えば $N$ 個)のデータであり、これらは全て $A$ の関数になっている。

【0049】つまり、 $N$ 個のデータ201を対象とした最適化計算を行う代わりに、 $N$ 個の $A$ を対象とした最適化計算をすれば、従属的にデータ201の最適解103が得られる。

【0050】具体的に $N$ 個の $A$ を対象とした最適化計算により最適解103を算出する方法は、 $N$ 個の $A$ を最適解103の探索領域に設定し、その中から遺伝的探索法で用いる染色体を抽出する。そして図2に示すフローの繰り返し計算によって、最適解103が得られる。

【0051】続いて、この近似最適解103のまわり

【0042】図6に示す断面2次モーメント $I_3$ のデータ101について近似曲線102を描くことができ、これによって断面2次モーメント $I_3$ は断面積 $A$ の関数として近似的に式(4)で表せることがわかった。

のデータ501についても近似曲線502を、図11に示す $B$ のデータ601についても近似曲線602を、図12に示す $t_1$ のデータ701についても近似曲線702を、図13に示す $t_2$ のデータ901についても近似曲線902をそれぞれ描くことができる。図7～図13によって得られた近似式を式(5)～(11)に示す。

【0044】

に、図1に示す詳細最適化計算装置35を用いて、図3中の骨組部材断面積 $A$ 、断面2次モーメント $I_3$ 、断面係数 $Z_3$ 、高さ $H$ 、幅 $B$ 、板厚 $t_1$ 、 $t_2$ などの断面特性データ226を対象とした詳細最適化計算を実施する。

【0052】図1に示す最適化設計装置30及び骨組構造と構造応答量の表示装置36を、図18に示す骨組構造13に適用して最適化計算をした結果の一部を、以下に説明する。なお、この計算では荷重条件として骨組構造13に作用する自重と地震荷重を考慮した。最適化問題のうち目的関数は骨組構造総重量に設定し、制約条件として鉄骨部材11に生じる応力及び変形量が許容値以下となる条件を与えた。

【0053】ここで、前記荷重条件はボイラ建造物の耐震設計で通常与えられている条件そのままのものであり、この条件なくしてはボイラ建造物の耐震安定性を照査できない必須のものである。

【0054】前記「詳細最適化計算」の計算方法については、具体的には図5に示す全ての断面特性、つまり全部材数 $N$ 個分収納されている「断面積 $A$ 、断面2次モーメント $I_3$ 、 $I_2$ 、断面係数 $Z_3$ 、 $Z_2$ 、高さ $H$ 、幅 $B$ 、板厚 $t_1$ 、 $t_2$ 」等のデータについて、近似最適解103まわりに詳細最適解の探索領域を設定する。そして、図3に示すフローの繰り返しで詳細最適解を求める。

【0055】収束計算の状況を図14及び図15に示す。図14及び図15における横軸は繰り返し計算回数を示し、縦軸は全ての染色体で計算した目的関数値(重量)のうちの最小値を、最適化前の構造重量で基準化した値を示している。

【0056】ここで、目的関数値903を導く計算式は

次の通りである。

【0057】

【数1】

$$\text{目的関数 } 903 = \sum_{i=1}^{N_T} \rho_s \times A_i \times L_i$$

ここに、 $N_T$ ：全ての鉄骨部材数

$\rho_s$ ：鉄の密度

$A_i$ ：部材  $i$  の断面積

$L_i$ ：部材  $i$  の長さ

【0058】図14における近似最適化計算の場合、図2に示すフローに従った収束計算が必要である。つまり、染色体126の適合度判定サブルーチン25により、染色体126の適合度を向上するような収束計算が必要となる。

【0059】これと同様に、図15における詳細最適化計算の場合、図3に示すフローに従った収束計算が必要である。つまり染色体226の適合度判定サブルーチン25により染色体226の適合度を向上するような収束計算が必要となる。

【0060】図14は図1中の近似最適化計算装置32による「全ての染色体の」最適化状況であり、約20回程度の繰り返しで目的関数値903が最適化前構造重量の0.94倍の値に収束している。図15は近似最適化計算で得られた近似最適解まわりに、図1中の詳細最適化計算装置33を自動適用した場合の収束計算状況を示している。約20回程度の繰り返しで、目的関数値904が最適化前構造重量の0.8倍の値に収束しており、近似最適化計算より最適化の度合いが大きく成っていることが分かる。

【0061】図14の近似最適化計算では、前述したように  $I_3$ 、 $I_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_2$ 、 $H$ 、 $B$ 、 $t_1$ 、 $t_2$  等のパラメータを、式(4)～式(11)に示すように  $A$  の関数として表し、 $A$  のみを対象とした計算を行っている。この計算結果が前述の通りになっている。

【0062】一方、図15の詳細最適化計算では、図5に示す全ての断面特性、つまり全部材数  $N$  個分収納されている「断面積  $A$ 、断面2次モーメント  $I_3$ 、 $I_2$ 、断面係数  $Z_3$ 、 $Z_2$ 、高さ  $H$ 、幅  $B$ 、板厚  $t_1$ 、 $t_2$ 」等のデータについて近似最適解まわりに詳細最適解の探索領域を設定する。

【0063】この場合、近似最適解の探索領域と詳細最適解の探索領域が異なることから、図14での目的関数値903が収束した値である0.94から、図15での目的関数値904の収束計算開始時の値1.05に変化する。詳細最適化計算ではこの値をスタートとして新たな最適化計算が実施され、結局、詳細最適解として目的関数値904が0.8に収束するものが得られる。

【0064】図16に最適化前の骨組構造を示し、図17に最適化後の骨組構造を示す。図16及び図17は、

図1中の骨組構造及び構造応答量の表示装置36により、石炭パンカ71やダクト72等の付属構造が存在する部分を表示したものである。

【0065】図16及び図17に示す構造において、柱75、梁76の部材配置は最適化前後で一定であるが、両図において部材75、76の断面は多少変化している。これに対して、最適化前後で、図中の点線で示すブレース部材73、74a、74bの配置と断面寸法が、大幅に変更されている。

10 【0066】具体的に言えば、最適化前では図16の点線部に等断面積のブレース部材73が配置されていたが、最適化後は図17の点線部に示すように、ブレースの74a、74bの数が少なくなり、かつブレース74a、74bの断面寸法にも分布が生じていることが分かる。

【0067】以上より、本発明による設計装置を用いれば、自動で骨組構造の最適化設計が実施でき、かつ設計後の構造は、部材の断面及び使用数が低減された適正構造となることが分かった。

20 【0068】以上、本発明による骨組構造最適化設計装置のボイラプラント支持骨組構造への適用例について述べたが、本設計装置は、特に構造対象を限定するものではない。ボイラプラント支持骨組よりも遙かに設計変数の多い骨組構造にも適用でき、合理的な骨組構造設計が可能である。

【0069】

【発明の効果】本発明によれば、以下の事項が実現される。

(1) 自動で骨組部材の配置及び寸法の高精度な最適化設計が実施できる。

30 (2) 上記(1)のように自動かつ高精度に骨組構造の合理化設計ができることから、従来、設計者の手間をとっていた煩雑な解析作業を大幅に削減するとともに、構造の詳細部に至るまで安全性を十分に検討できることから、ボイラ支持用骨組だけでなく、その他全ての骨組構造の信頼性を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態による最適骨組構造設計装置の構成を示した図である。

40 【図2】 図1中の近似最適化計算装置を示した図である。

【図3】 図1中の詳細最適化計算装置を示した図である。

【図4】 骨組部材の断面図である。

【図5】 本発明の実施の形態による骨組部材の断面テーブルの一部を示した図である。

【図6】 本発明の実施の形態による骨組部材断面積と断面積以外の断面特性の関係を示した図である。

50 【図7】 本発明の実施の形態による骨組部材断面積と断面積以外の断面特性の関係を示した図である。

【図8】 本発明の実施の形態による骨組部材断面積と断面積以外の断面特性の関係を示した図である

【図9】 本発明の実施の形態による骨組部材断面積と断面積以外の断面特性の関係を示した図である。

【図10】 本発明の実施の形態による骨組部材断面積と断面積以外の断面特性の関係を示した図である。

【図11】 本発明の実施の形態による骨組部材断面積と断面積以外の断面特性の関係を示した図である。

【図12】 本発明の実施の形態による骨組部材断面積と断面積以外の断面特性の関係を示した図である。

【図13】 本発明の実施の形態による骨組部材断面積と断面積以外の断面特性の関係を示した図である。

【図14】 本発明の実施の形態による近似最適化計算の収束状況を示した図である。

【図15】 本発明の実施の形態による詳細最適化計算の収束状況を示した図である。

【図16】 本発明の実施の形態による最適化前の骨組部材の配置を示した図である。

【図17】 本発明の実施の形態による作用を説明した図であり、最適化後の骨組部材の配置を示した図である。

【図18】 ボイラプラント支持用の骨組構造の鳥瞰図である。

【図19】 従来の最適化手法である「感度に基づく最適化手法」について説明した図である。

【図20】 従来の最適化手法である「感度に基づく最適化手法」について説明した図である。

【図21】 従来の最適化手法である「感度に基づく最適化手法」について説明した図である。

【図22】 従来の最適化手法である「感度に基づく最適化手法」について説明した図である。

【図23】 新最適化手法である「遺伝的探索法」について説明した図である。

【図24】 新最適化手法である「遺伝的探索法」について説明した図である。

【図25】 遺伝的探索法による計算フローチャートを示している。

【図26】 遺伝的探索法による従来技術を説明した図である。

#### 【符号の説明】

2 H型断面部材の2軸  
3 H型断面部材の3軸  
4 感度  
4a ランダム探索  
4b 座標  
6 目的関数値  
9 局所解  
11 鉄骨部材  
13 骨組構造の作成サブルーチン

3 H型断面部材の3軸  
4a 等高線  
5 変数空間  
9a 最適解  
9b 初期値  
12 ボイラ  
21 染色体

21a 構造応答量計算サブルーチン

23 交差サブルーチン  
異サブルーチン

25 適合度判定サブルーチン  
27 適合度

ーレット

29a 親(1)  
(2)

29c 子(1)  
(2)

29e 子(1)

組構造設計装置

32 設計変数近似式に基づく近似最適化計算装置

33 設計変数データベース

35 設計変数データベースに基づく詳細最適化計算装置

36 骨組構造及び構造応答量の表示装置

41 H型断面部材  
ンカ

72 ダクト

73 最適化設計前のブレース部材

74a、74b 最適化設計後のブレース部材

75 柱

101 基準化した断面積データに対する基準化した3軸まわりの断面二次モーメントのデータ

102 基準化した断面積データに対する基準化した3軸まわりの断面二次モーメントのデータの近似曲線

103 断面積Aの近似最適解

126 設計変数(染色体)

128 近似式による変数変換サブルーチン

201 基準化した断面積データに対する基準化した3軸まわりの断面二次モーメントのデータ

202 基準化した断面積データに対する基準化した3軸まわりの断面二次モーメントのデータの近似曲線

226 染色体

301 基準化した断面積データに対する基準化した3軸まわりの断面係数のデータ

302 基準化した断面積データに対する基準化した3軸まわりの断面係数のデータの近似曲線

401 基準化した断面積データに対する基準化した2軸まわりの断面係数のデータ

402 基準化した断面積データに対する基準化した2軸まわりの断面係数のデータの近似曲線

501 基準化した断面積データに対する基準化したHのデータ

502 基準化した断面積データに対する基準化したHのデータの近似曲線

601 基準化した断面積データに対する基準化したBのデータ

22 淘汰サブルーチン

24 突然変異サブルーチン

26 染色体  
28 回転ルーレット

29b 親

29d 子

30 最適骨組構造設計装置

71 石炭バ

76 梁

602 基準化した断面積データに対する基準化したB  
のデータの近似曲線

701 基準化した断面積データに対する基準化したt  
1のデータ

702 基準化した断面積データに対する基準化したt  
1のデータの近似曲線

901 基準化した断面積データに対する基準化したt  
2のデータ

902 基準化した断面積データに対する基準化したt

2のデータの近似曲線

903 近似最適化計算における目的関数の値

904 詳細最適化計算における目的関数の値

1101 シミュレータ

1102 最適化計算装置

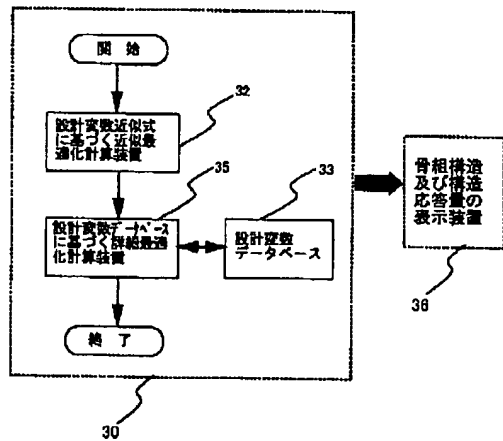
1103、104 データファイル

1105 最適化計算部

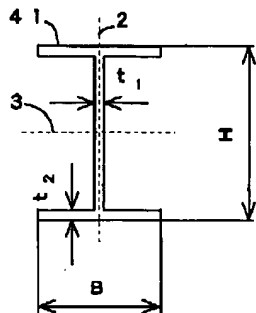
1106 インターフェイス部

1126 断面積

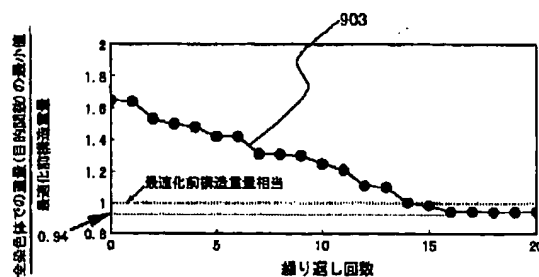
【図1】



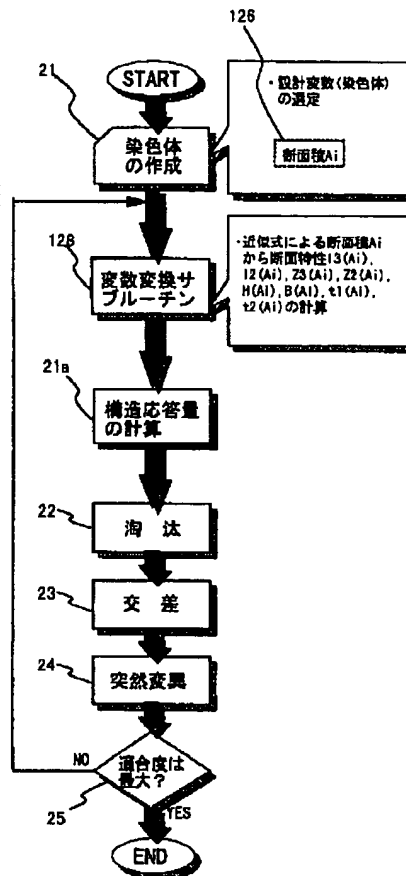
【図4】



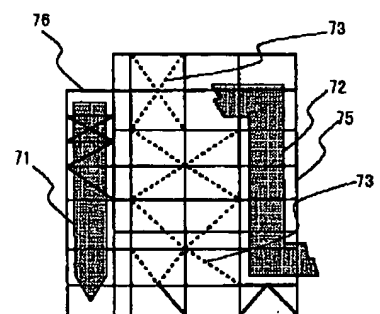
【図14】



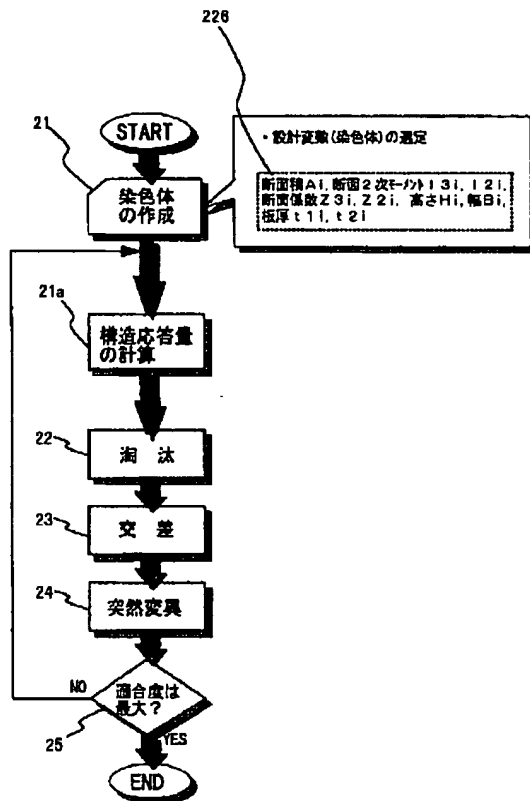
【図2】



【図16】



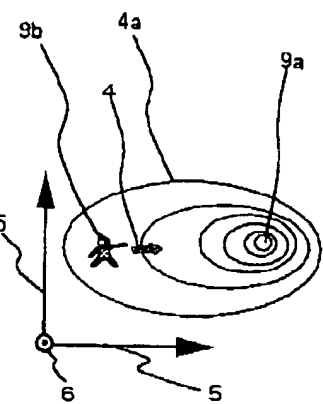
【図3】



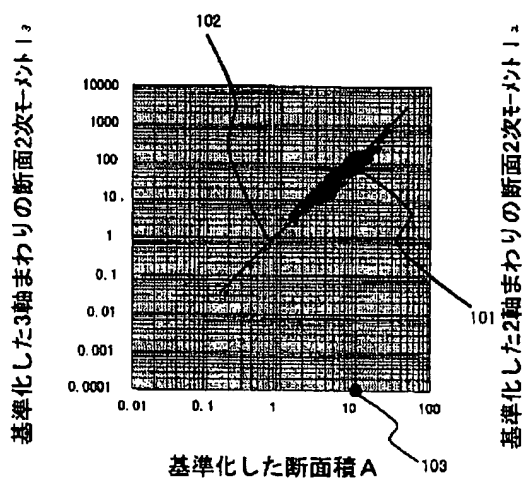
【図5】

部材番号	断面積	3軸まわりの断面2次モーメント
1	$A_1$	$I_{31}$
2	$A_2$	$I_{32}$
...		
$N-1$	$A_{N-1}$	$I_{3N-1}$
$N$	$A_N$	$I_{3N}$

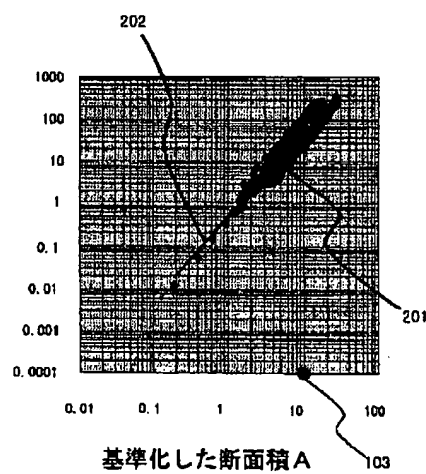
【図19】



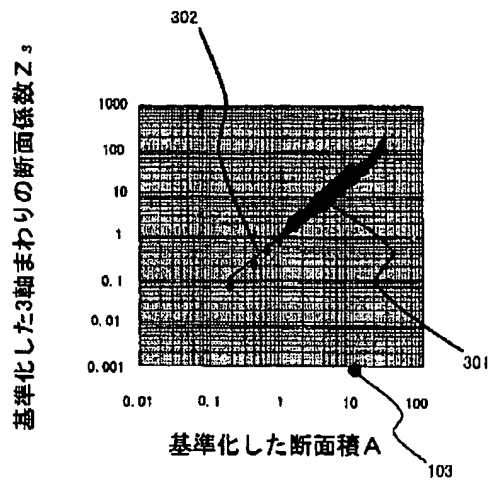
【図6】



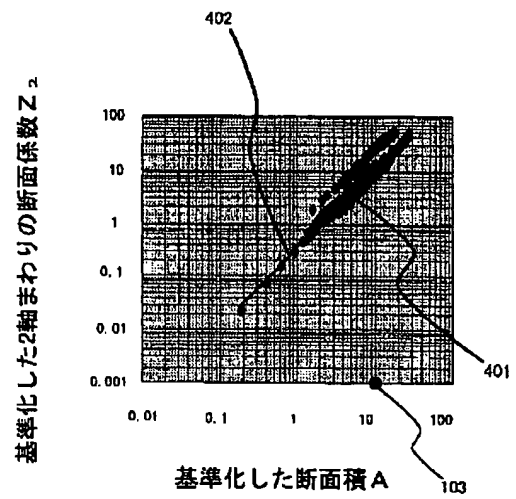
【図7】



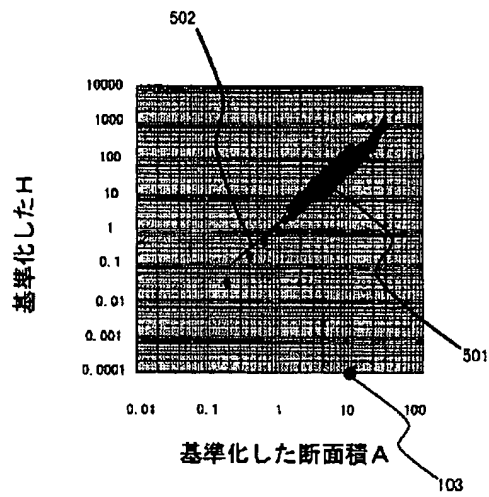
【図 8】



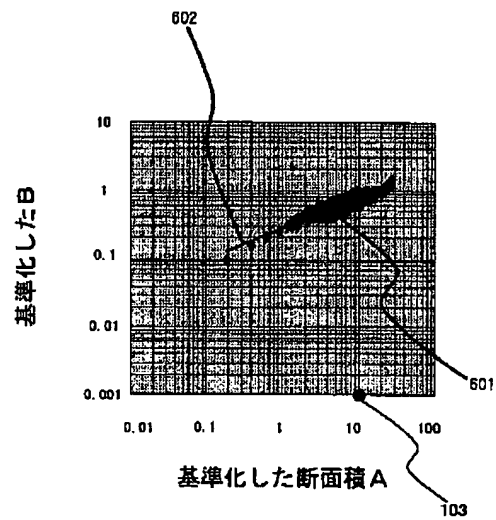
【図 9】



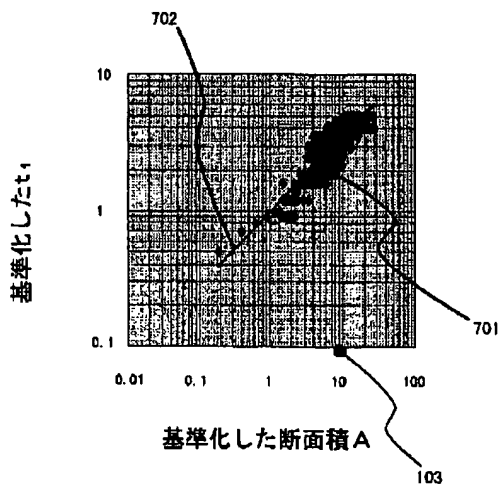
【図 10】



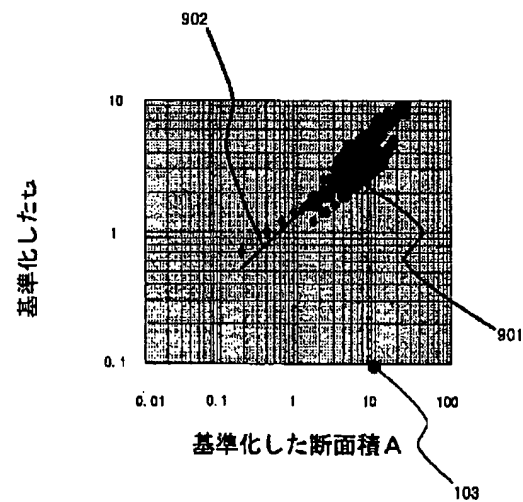
【図 11】



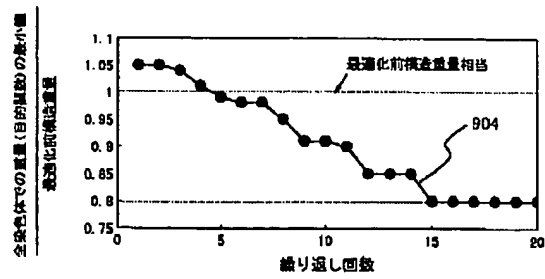
【図 12】



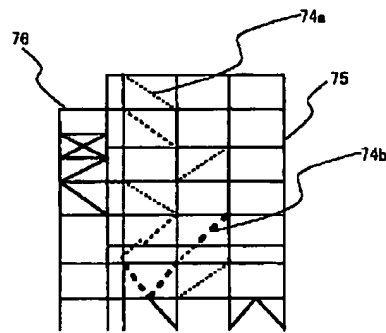
【図 13】



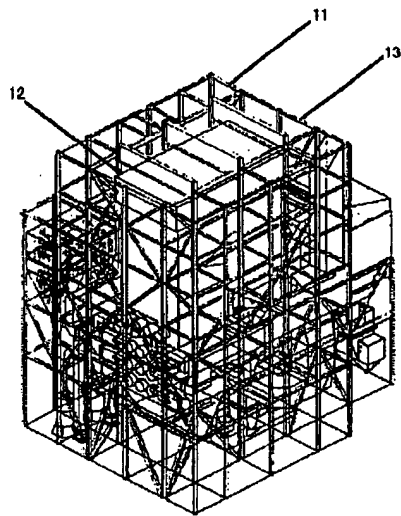
【図15】



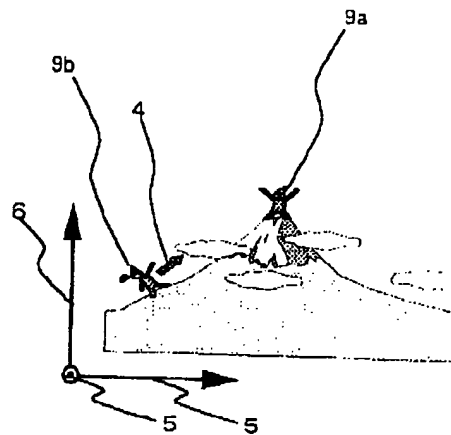
【図17】



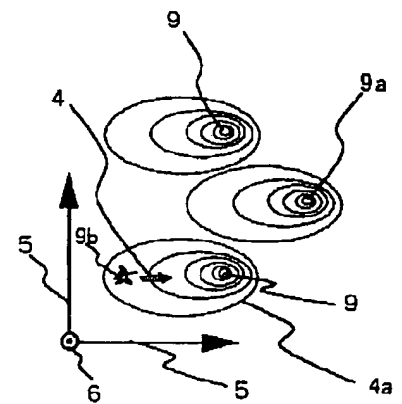
【図18】



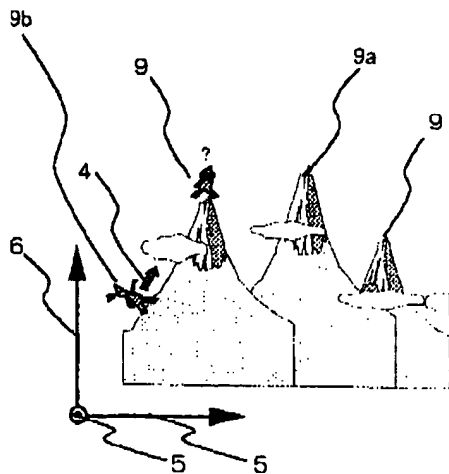
【図20】



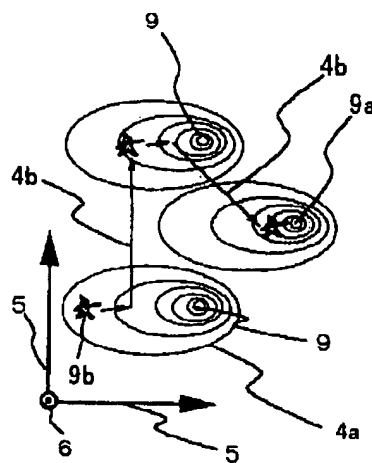
【図21】



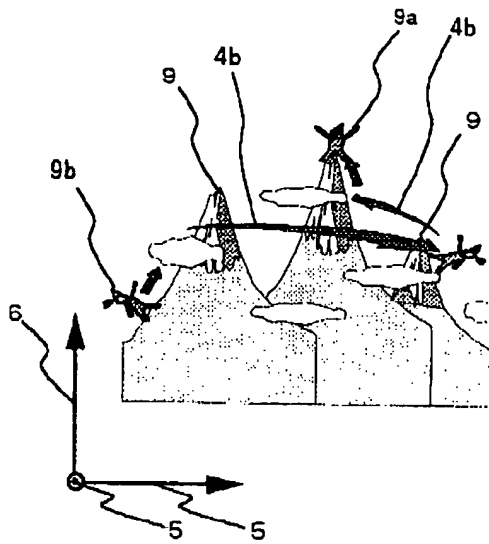
【図22】



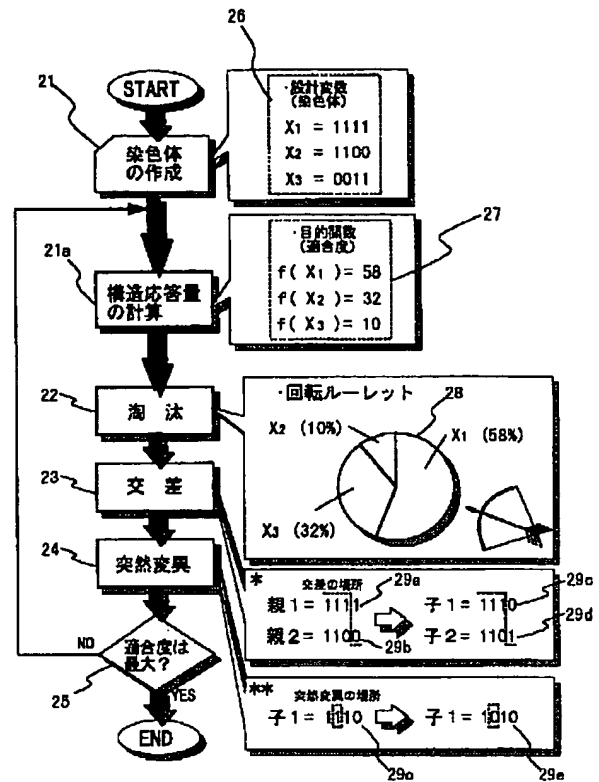
【図23】



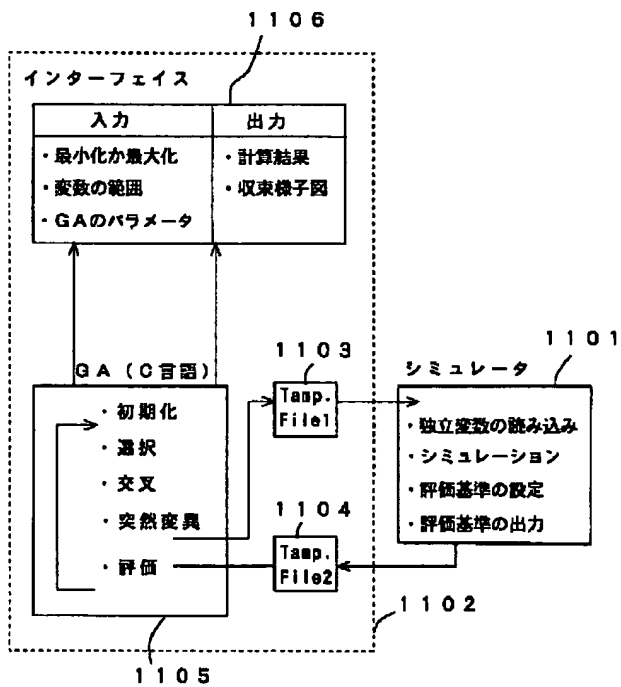
【図24】



【図25】



【図26】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**